

CaF₂(Eu)結晶による太陽ニュートリノ観測の基礎研究

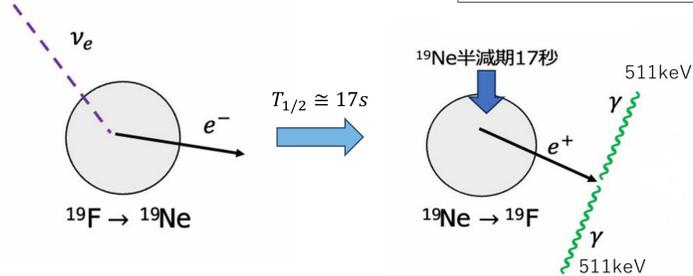
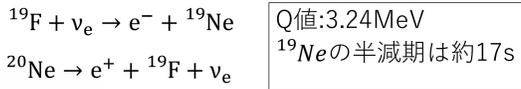
三好要 小川准太郎 木下雄太

共同実験者:井上真也 畑中拓人
指導教員 :竹内康雄 伊藤博士

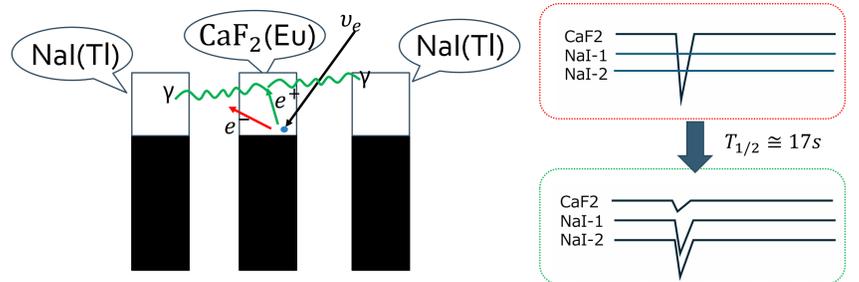
1.研究背景

フッ化物結晶のニュートリノ捕獲を利用した太陽ニュートリノの観測
⇒発光量が多いため他の検出器に比べてより良いエネルギー分解能で測定可能
→より精密に電子ニュートリノの生存確率を測定できる!!

●¹⁹Fによるニュートリノ捕獲の過程



●同時遅延測定



閾値を適切に設定し、このイベントをセレクトしたい
⇒本研究はそのためのDAQ回路の開発及びバックグラウンドスタディ

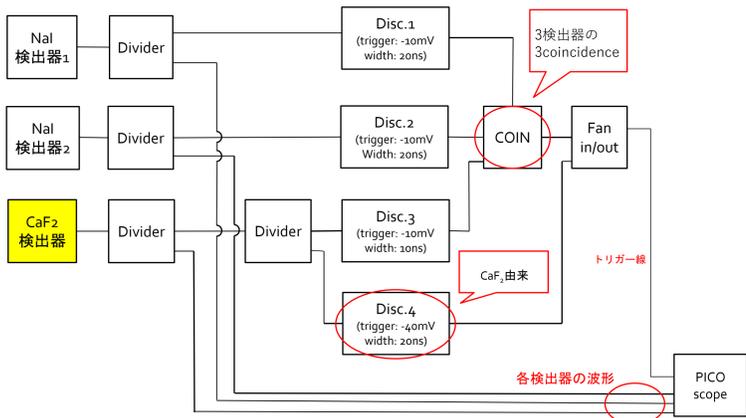
●期待される反応事象頻度

ニュートリノ - CaF₂結晶の反応事象頻度Rは結晶1トン当たり
 $R \approx 4.73 \times 10^{-8} / \text{ton/s}$
であり、本実験においては観測は不可能である
(断面積σは $\sigma = 1.7 \times 10^{-42} \text{cm}^2 [1]$ としている)

[1]: Solar neutrino observation based on fluoride scintillation crystals

2.実験装置

●回路図

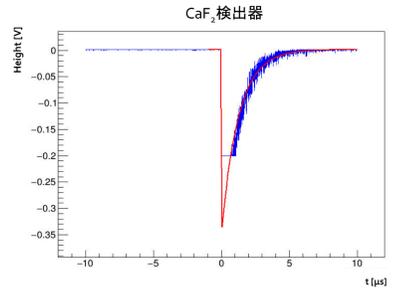


●縦ラン測定

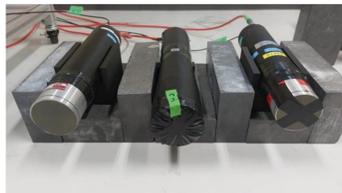


●出力波形

Picoscopeのデータフォーマット
・電圧スケール
NaI検出器1: -0.5V ~ 0.5V
NaI検出器2: -0.5V ~ 0.5V
CaF₂検出器: -0.2V ~ 0.2V
これらの範囲において8bitで出力



●横ラン測定

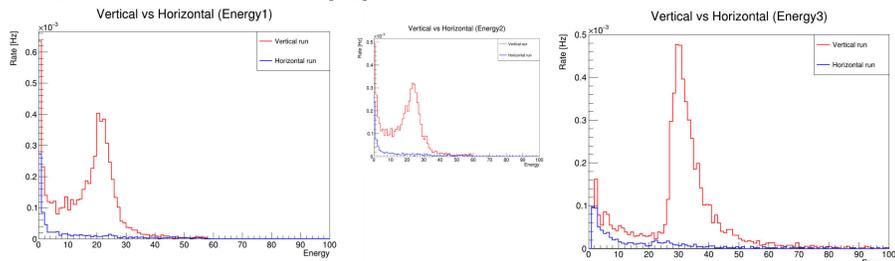


オーバーフローした波形には関数を仮定して波形を復元した
立ち下がり: $A * \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau_2}\right) + base$
立ち上がり: $A * \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau_1}\right) + base$
A: 推定波高, t₀: peaktime, τ₁: 立ち上がり波形の時定数
τ₂: 立ち下がり波形の時定数

オーバーフローした波形には、復元した波形を基に電荷を計算した

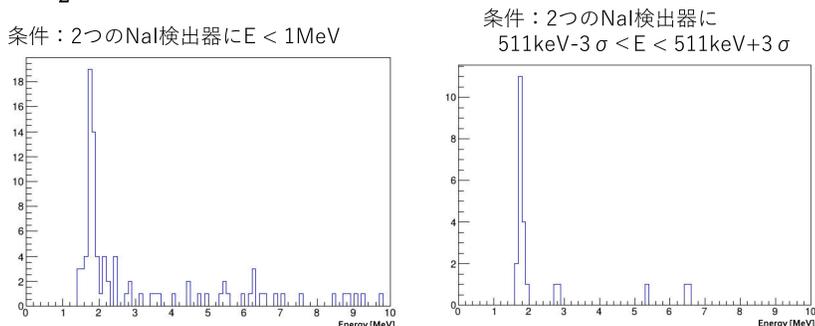
3.結果

●3コインシデンス事象



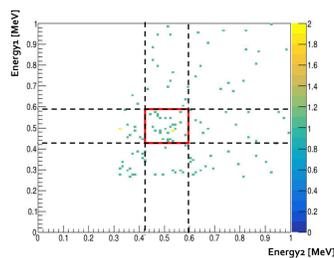
検出器を縦に並べたときピークが見えたが、横に並べたとき見えなかった
⇒突き抜けミューオン事象が支配的

●CaF₂検出器で検出したエネルギースペクトル



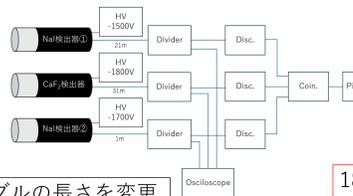
2MeV付近にピークが見られる。

●対消滅事象の確認



対消滅に対応するエネルギーの511keV付近にピークを確認できる。

●偶発同時計測の可能性検証



それぞれの検出器のバックグラウンドレートは

$$R_1 = 14.0 \pm 0.1 [\text{Hz}]$$

$$R_2 = 14.4 \pm 0.1 [\text{Hz}]$$

$$R_3 = 5.97 \pm 0.04 [\text{Hz}]$$

なので偶発的同時計測のレートは
 $R = R_1 R_2 R_3 (w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_3 w_1)$
 $= (9.7 \pm 0.1) \times 10^{-13} [\text{Hz}]$

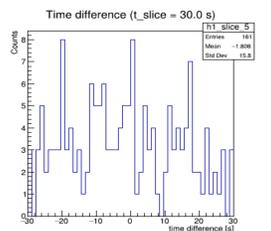
ケーブルの長さを変更

18時間の測定の結果、コインシデンス事象は0だった。

●ミューオン核破砕によるβ⁺核生成の可能性

・ミューオン突き抜け事象と3コインシデンス事象との時間差が生成核の半減期に依存するため、指数分布の余剰が見られるはず

実際に様々な時間スケールで検証したが、有意な余剰はなかった。



4.まとめ・今後の展望

●本実験のまとめ

- ・縦ランにおいては 3coincidence 事象において宇宙線ミューオン事象が支配的であった
- ・NaI検出器に511keV領域の事象数に他に比べて事象数が多かった
- ・3coincidence事象において、CaF₂検出器で検出されたエネルギーが2 MeV付近に集中していた
- ・偶発事象やミューオン核破砕の可能性を検証したが、異なると考えられる

●今後の展望

511keV事象の起因を探る必要がある

そのために

- ・鉛ブロックの影響を考え、鉛ブロックを取り除いた測定
- ・環境γ線の影響を考えシンチレータを鉛ブロックで囲った測定
- ・ミューオンによる影響を考え、地中での測定を行うことや
- ・仮説をシミュレーションし測定値と比較するといったことが考えられる